

岡山県沿岸海域で発生した渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* の増殖等が 栄養塩濃度低下に及ぼす影響

山下 泰司

Influence of Increase in the Dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* and Other Factors on Decrease in Nutrient Concentration in the Coastal Area of Okayama Prefecture

Yasushi YAMASHITA

岡山県のノリ養殖業は本県の漁業生産額の2~3割を占める主要な漁業種類であるものの、近年、溶存態無機窒素 (DIN) の減少にともなうノリの色落ちが頻発し問題となっている。ノリの色落ちとは、本来、黒色であるノリの葉体が薄い茶褐色となる現象を指し、瀬戸内海東部では DIN 濃度が2~3 μ Mを下回ると色落ちが生じ、色落ちした葉体から作られた乾海苔単価は著しく低い¹⁾。

DIN 濃度の低下要因として、降水量の不足による陸域からの栄養塩供給の減少、強い西風の影響による瀬戸内海西部海域の低栄養・高塩分水塊の瀬戸内海東部への移動、植物プランクトンの大量発生による DIN の大量消費等が指摘されている^{2,3)}。DIN 濃度の低下をもたらす植物プランクトンとして、瀬戸内海では *Coscinodiscus wailesii*⁴⁾、*Eucampia zodiacus*⁵⁾ が挙げられ、この他にも1994年11月~'95年1月の *Thalassiosira diporocyclus*⁶⁾、2005年2月の *Chaetoceros densus*⁷⁾ が報告されている。

2016年度漁期の DIN 濃度は'17年1月上旬までノリ養殖に支障のない濃度を保っていたものの、その後下旬にかけて急激に低下した。本漁期の植物プランクトンの発生状況は、1月上旬に水島灘を中心に渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* が大発生するとともに *Skeletonema* 属および *Cheateceros* 属の珪藻類も増加し、下旬には *E. zodiacus* が大量に発生した。*A. sanguinea* は、有明海ではノリ養殖漁期中の栄養塩濃度低下をもたらす原因プランクトンとして注意喚起されており、2016年度漁期も大量に発生した (<http://www.marinelabo.nagasaki.nagasaki.jp/news/akasio/sokuho/16-18ariakekai.pdf>)。

本県の冬季における *A. sanguinea* の大量発生は2017年1月が初めてであったことから、室内培養実験と気象海象データから本種の増殖と DIN 濃度の急激な低下について考察を行った。

材料と方法

A. sanguinea および E. zodiacus の出現状況と栄養塩濃度およびクロロフィル a 濃度 2017年1月5日、31日に図1に示した岡山県沿岸の34定点、1月12日、26日に43定点(水深6~47m)のそれぞれ表層で採取した海水1 mL中の *A. sanguinea* と *E. zodiacus* の細胞密度を光学顕微鏡により確認した。なお、本研究では便宜上、下津井瀬戸以東を東部海域、以西を西部海域と区分した。

栄養塩濃度は、上述の海水100 mLを口径25 mm GF/F フィルター(Whatman 社製)で濾過し、濾液中の NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N をオートアナライザー *QuAAtro2HR* (BL-Tech 社製)で分析した。

クロロフィル a 濃度は、上記各フィルターを10 mLの90%アセトンにより一晩抽出し、蛍光光度計(ターナーデザイン社10-AU型)を用いて蛍光値を測定した。この蛍光値(x)とクロロフィル a 濃度(y)との回帰式($y = 0.20x$)から、海水中の植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a 濃度を計算した。

室内実験における A. sanguinea の DIN 消費状況 海水を0.22 μ mGS メンブレンフィルター(Millipore 社製)で濾過後、125 mL 容三角フラスコに分注し、さらに現場海域を想定し、NO₃-N を10 μ M 程度となるよう添加した。試験区には単離後2か月ほど馴致培養した *A. sanguinea* を約30 cells/mLとなるよう接種した。栄養塩の取り込み実験はバクテリアの存在が結果に大きく影響することから⁸⁾、接種時にバクテリアが混入する可能性を考慮し、対照区には GF/F シリンジフィルター(Whatman 社製)で濾過した *A. sanguinea* の培養濾液を試験区と同量接種した。培養は水温15°C、白色蛍光灯(約6900 lux)のもとで、12L:12Dの明暗周期条件下で行った。2日

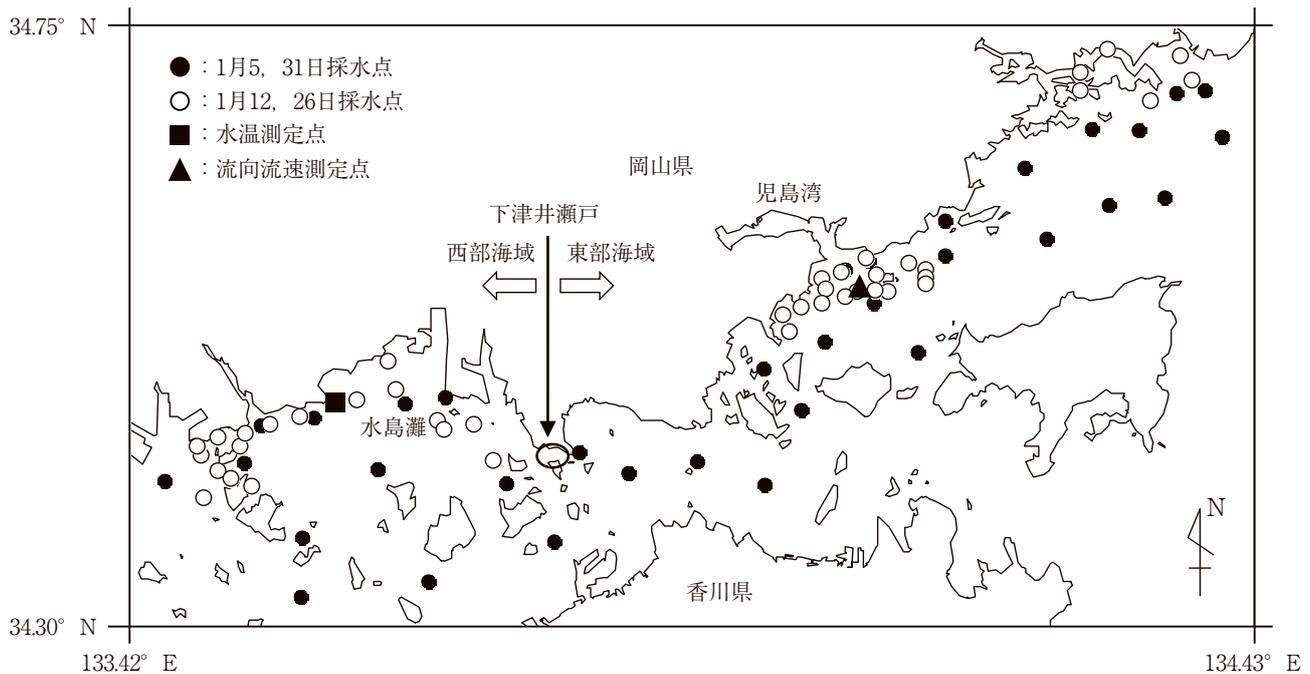


図1 調査定点図

毎に *A. sanguinea* の細胞密度を確認するとともに、培養液を各15mL ずつ回収し GF/F シリンジフィルターで濾過して濾液を栄養塩分析に供した。

気象海象データの取得 水温はワイパー式メモリー水温・クロロフィル濁度計 Infinity-CLW (JFE アドバンテック社製) を用いて西部海域の水島灘沿岸の水深1m における30分毎の水温を測定し、日平均値を求めた。流向・流速は小型メモリー流速計 Infinity-EM (JFE アドバンテック社製) を用いて東部海域の児島湾沖の水深50cm における1時間毎の北方流速および東方流速を測定した。また、潮汐周期変動を除去するため25時間移動平均を施し潮汐残差流として、その日平均値を求めた。風向・風速は気象庁の気象統計情報 (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) から岡山地方気象台の最多風向と風速の日平均値を取得した。

結果と考察

***A. sanguinea* および *E. zodiacus* の出現状況** *A. sanguinea* および *E. zodiacus* の各細胞密度の推移を図2 および図3 に示した。*A. sanguinea* は西部海域で1月5日に最高192細胞/mL、1月12日に最高78細胞/mL が検出された。東部海域では西部海域ほどの高密度には検出されなかった。*E. zodiacus* は1月26日に100細胞/mL を超える定点がみられ、1月31日には西部海域で最高238細胞/mL、東部海域で最高384細胞/mL と、県下全域で *E. zodiacus* が優占した。

A. sanguinea は *Skeletonema costatum* や *Chaetoceros didymum* といった珪藻類のアレロパシーによる強い増殖抑制作用を受けて珪藻類繁茂期に増殖できないこと⁹⁾、河川からの NO₃-N の供給が大量発生 の要因となること¹⁰⁾、水温10℃以下での増殖速度が非常に低いこと¹¹⁾ が知られている。1月5日に西部海域で本種の最高細胞密度が検出された定点では珪藻がほとんど検出されず、河川水が流入する海域であったことに加え日平均水温が11.9℃と高かった(図4)。1月15日以降は水温が10℃を下回ったためか、本種の細胞密度は低下傾向を示した。これらの状況は前述の他海域での既往知見と一致した。

DIN 濃度の推移 DIN 濃度の水平分布の推移を図5 に示した。西部海域の DIN 濃度は1月5日に平均3.9μM、1月12日に1.2μM と、1月上旬から中旬にかけて3μM を下回る濃度となった。一方、東部海域は1月12日に5.6μM、26日に1.1μM と、1月中旬から下旬にかけて3μM を下回る濃度となった。

DIN 濃度と *A. sanguinea* の細胞密度およびクロロフィル a 濃度との関係 1月12日の DIN 濃度と *A. sanguinea* の細胞密度およびクロロフィル a 濃度との関係を図6 に示した。DIN 濃度 (y) と *A. sanguinea* の細胞密度 (x) との関係式は $y = 5.9e^{-0.046x}$ (スピアマンの順位相関係数 $r = -0.84$, $p < 0.01$)、クロロフィル a 濃度 (x) との関係式は $y = -0.82x + 8.2$ ($r = -0.91$, $p < 0.01$) と有意な負の相関を示した。*A. sanguinea* の細胞密度およびクロロフィル a 濃度が高いほど DIN 濃度は低く、DIN 濃度の低下

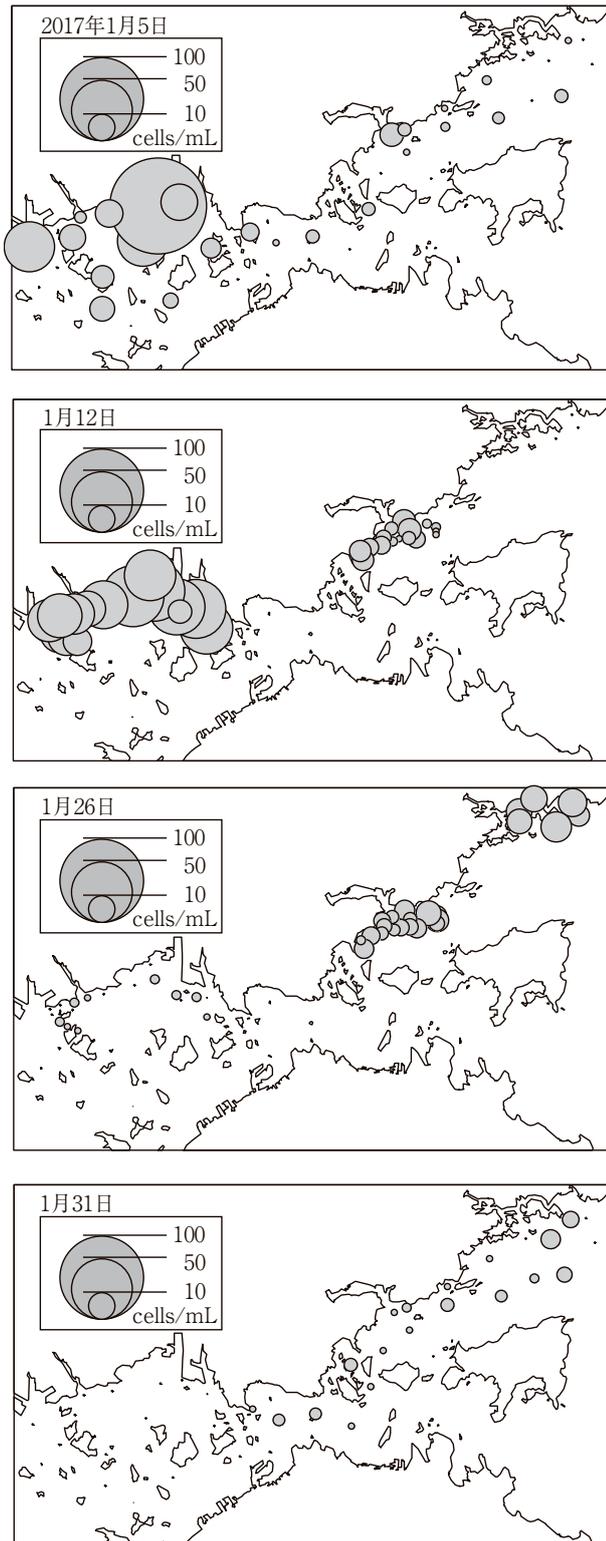


図2 *A. sanguinea* の細胞密度の推移

は植物プランクトンによる消費が主要因と考えられた。

室内実験における *A. sanguinea* の DIN 消費状況 *A. sanguinea* の細胞密度の変化と DIN 消費状況を図7に示した。*A. sanguinea* が消費したと考えられた DIN 濃度(試験区と対照区の差)は2~10日後に $2.5\sim 3.3\mu\text{M}$ 、12日後は $7.1\mu\text{M}$ となった。

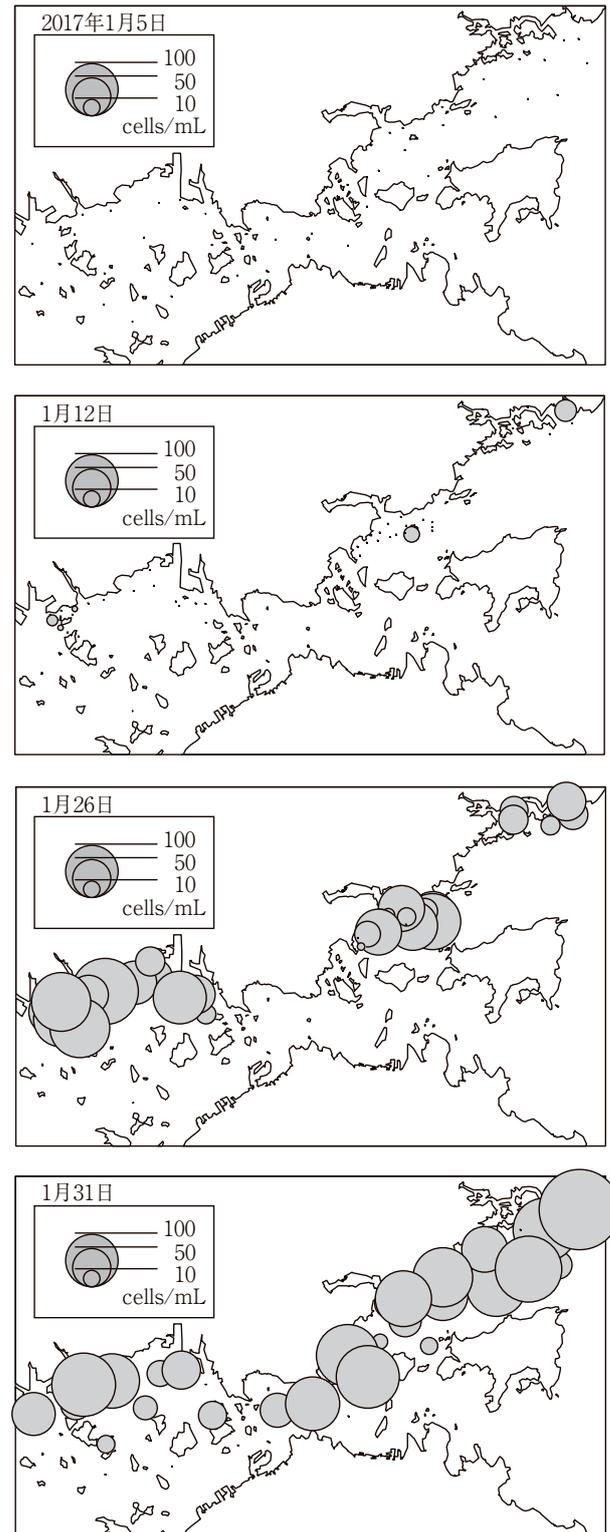


図3 *E. zodiacus* の細胞密度の推移

A. sanguinea の細胞密度は開始時が37細胞/mL、2日後は50細胞/mL、4~10日後は49~58細胞/mL、12日後は84細胞/mLであった。細胞密度が増加したときに DIN 濃度の低下が大きく、0日から2日後および10日から12日後の DIN 濃度差はそれぞれ $2.8\mu\text{M}$ ($1.4\mu\text{M}/\text{日}$) および $3.9\mu\text{M}$ ($1.9\mu\text{M}/\text{日}$) であった。本県西部海域において1月

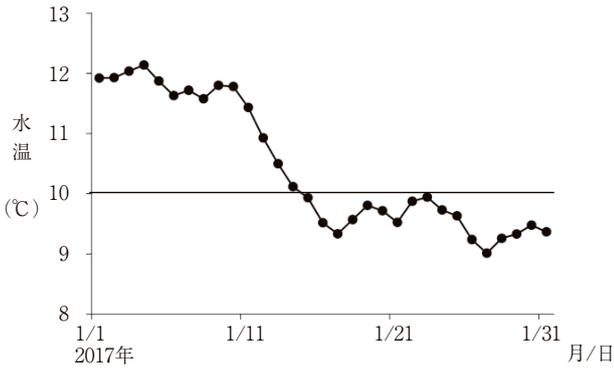


図4 県西部海域における水温の推移

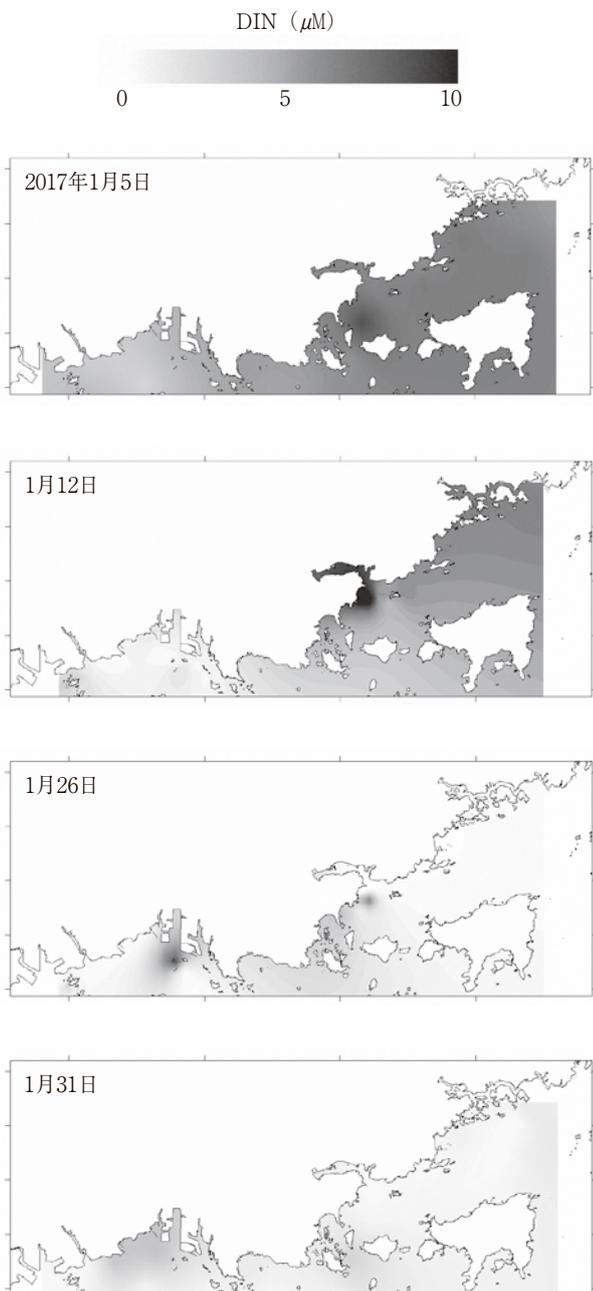


図5 DIN濃度の推移

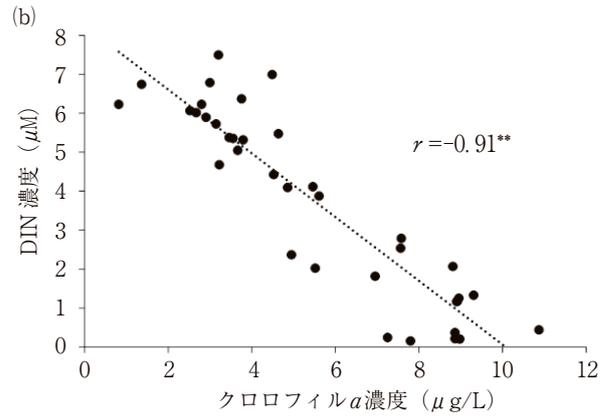
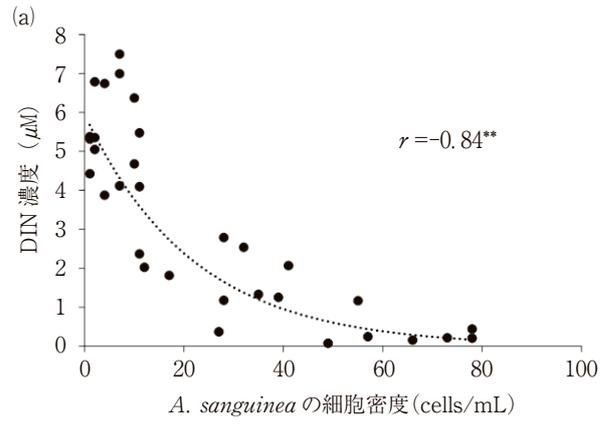


図6 DIN濃度と *A. sanguinea* の細胞密度 (a) およびクロロフィル *a* 濃度 (b) との関係
** : $p < 0.01$

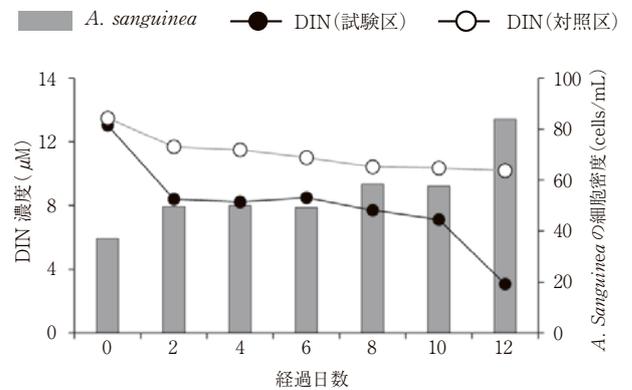


図7 室内実験における *A. sanguinea* の細胞密度の変化と DIN 消費状況

5日から12日にかけて低下したDIN濃度は平均2.7μMで、*A. sanguinea*の増殖がDIN濃度の低下に影響を及ぼした可能性が考えられた。

その他のDIN濃度の低下要因 1月の岡山地方気象台の風向・風速(図8)および児島湾沖の東方流速の残差流(図9)をみると、1月9~16日、1月20~24日にかけて西寄りの風が卓越し、吹送流の影響もあり同期間中、東向き残差流が卓越していた。このことから、1月のDIN濃度の低下要因の一つとして、中旬から下旬に

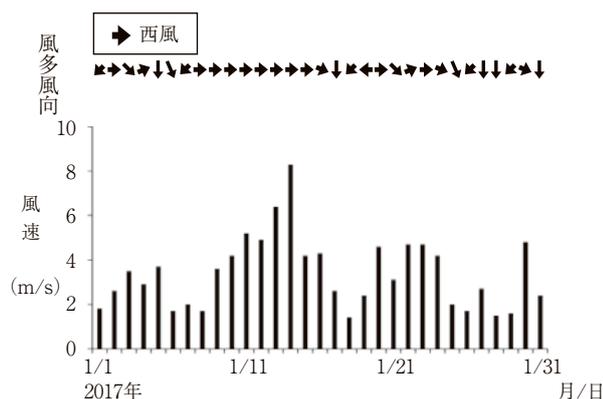


図8 岡山地方気象台の風向・風速の推移

かけては西風の影響を受けて西部海域の低栄養塩の水塊が東部海域に流入したことが考えられた。さらに、同時期を中心に *E. zodiacus* の大量発生もみられ、県下全域で DIN が枯渇したと推察された。

DIN 濃度の低下を予測できれば、ノリ養殖漁業者が色落ち前にノリを刈取り、収益の向上が可能となるため、DIN 濃度の動態予測は養殖現場で期待されている。一方、海域の DIN 濃度の低下は植物プランクトンの消費だけでなく、前述した陸域からの栄養塩の供給状況や低栄養塩水塊の移動なども考えられ、その時々で要因が異なり複雑である。今後、植物プランクトンの大量発生の前兆を示す要因を探索するなど動態予測の技術開発に向けて解析を積み重ねていく必要がある。

要 約

冬季における *A. sanguinea* の大量発生が本県で初めて確認され、西部海域の DIN 濃度の低下に影響を及ぼした可能性が考えられた。その後、西部海域の低栄養塩水塊は西風の影響を受けて東部海域に流入するとともに、*E. zodiacus* の大量発生により全域にわたり DIN が枯渇したと考えられた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、採水に協力していただいたノリ養殖関係漁業協同組合の組合員、職員の方々に厚く御礼申し上げる。

文 献

1) 村山史康・清水泰子・高木秀蔵, 2015: 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調および乾海苔単価との関係, 日本水産学会誌, **81**, 107-114.

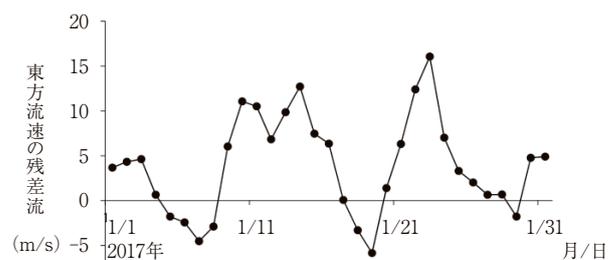


図9 児島湾沖の東方残差流の推移

- 2) 多田邦尚・藤原宗弘・本城凡夫, 2010: 瀬戸内海の水質環境とノリ養殖, 分析化学, **59**, 945-955.
- 3) 阿保勝之・杜多 哲・藤原建紀, 2006: 冬季の東部瀬戸内海における残差流と栄養塩環境, 海岸工学論文集, **53**, 1096-1100.
- 4) T. Manabe and S. Ishio, 1991: Bloom of *Coscinodiscus wailesii* and DO deficient of bloom in Seto Inland Sea, *Mar. Poll. Bull.*, **23**, 181-184.
- 5) 西川哲也, 2002: ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす水温、塩分および光強度の影響, 日本水産学会誌, **68** (3), 356-361.
- 6) K. Miyahara, S. Nagai, S. Itakura, K. Yamamoto, K. Fujisawa, T. Iwamoto, S. Yoshimatsu, S. Matsuoka, A. Yuasa, K. Makino, Y. Hori, S. Nagata, K. Nagasaki, M. Yamaguchi and T. Honjo, 1996: First record of a bloom of *Thalassiosira diporocyclus* in the Eastern Seto Inland Sea, *Fish. Sci.*, **62**, 878-882.
- 7) 大山憲一・吉松定昭・本田恵二・安部享利・藤沢節茂, 2008: 2005年2月に播磨灘から備讃瀬戸に至る香川県沿岸域で発生した大型珪藻 *Cheatoceros densus* のブルーム: 発生期の環境特性とノリ養殖への影響, 日本水産学会誌, **74**, 660-670.
- 8) 多田邦尚・一見和彦・山口一岩, 2014: 海洋科学入門, 恒星社厚生閣, 113pp.
- 9) 松原 賢・長副 聡・山崎康裕・柴加田知幸・島崎洋平・大嶋雄治・本城凡夫, 2008: 渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* に対する中心目珪藻類による増殖抑制作用, 日本水産学会誌, **74** (4), 598-606.
- 10) M. G. Robinson and L. N. Brown, 1983: A recurrent Red Tide in a British Columbia Coastal Lagoon. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **40**, 2135-2143.
- 11) T. Matsubara, S. Nagasoe, Y. Yamasaki, T. Shikata, Y. Shimasaki, Y. Oshima and T. Honjo, 2007: Effects of temperature, salinity, and irradiance on the growth of the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **342**, 226-230.